

Desarrollo de moldes de prensado con recubrimientos antidesgaste

A. POYATOS¹, F. TUR¹, J.A. PÉREZ¹ Y M.A. RODRÍGUEZ²

¹Macer S.L. Almassora, Castellón

² Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC). C/ Kelsen 5. Campus Cantoblanco. 28049 Madrid.

El objetivo del presente trabajo ha sido el desarrollo de una nueva concepción de moldes de prensado para la industria del pavimento y revestimiento cerámicos. El empleo de recubrimientos con materiales compuestos metal-cerámica ha permitido, además de multiplicar la vida útil de los moldes por un factor entre 2 y 3 (1.000.000 – 1.500.000 ciclos de prensado), emplear aceros más económicos en la producción del molde, su reutilización, eliminar etapas de alto consumo energético, como el templado, que además provocan gran número de rechazos en el proceso, todo ello sin un incremento desmesurado en los costes directos respecto a los del procedimiento tradicional.

Como método para la obtención del recubrimiento se ha empleado la proyección a alta velocidad, conocida por sus siglas en inglés HVOF (Hiper Velocity Oxi-Fuel spraying). Esta técnica combina las temperaturas relativamente elevadas de la llama de Hidrógeno o Acetileno con la energía cinética muy elevada que proporcionan las velocidades supersónicas de proyección (700 – 1100 m/s). Como material de recubrimiento se ha empleado un compuesto WC-Co en relación 80-20 (% en peso). Estas características han permitido obtener recubrimientos con porosidad casi nula, con una elevada resistencia al desgaste.

Palabras clave: Recubrimientos, HVOF, WC-Co, Prensado, Pavimentos, Revestimientos, Moldes.

Pressing dyes development with wear resistant coatings

Objective of the present paper has been the development of a new pressing dye concept in the field of ceramic tiles. The use of metal-ceramic composite coatings has allowed multiplying the dies life time for a factor between 2 and 3 (1.000.000 – 1.500.000 pressing cycles), the use of lower price steels; avoid some high energy consuming processing steps. This process doesn't provoke a great increasing in the direct cost of the classical manufacturing route.

In order to coat the dies HVOF (Hyper Velocity Oxi-Fuel spraying) has been selected. This technique combines the high temperatures of Hydrogen or Acetylene flame with the very high kinetic energy due to the supersonic speed of the particles (700 – 1100 m/s). As coating material a WC-Co composite (80-20 weight %) was selected. These characteristics have allowed to obtain coatings without porosity (<1%) and very high wear resistance

Key words: Coatings, HVOF, WC-Co, pressing, tiles.

1. INTRODUCCIÓN

La evolución del molde ha ido paralela a la evolución tecnológica del proceso de fabricación de baldosas cerámicas y, como es lógico, estrechamente ligada a la de las prensas. Desde las primeras prensas manuales, el molde ha experimentado muchos cambios, aunque es posible identificar dos importantes transformaciones: la primera tiene lugar con la automatización del proceso de prensado y coincide en el tiempo con la primera reconversión industrial, a principios de los años '60 (1). Es quizás, la más profunda transformación del molde para baldosas ya que afecta a su propia concepción pues se pasa del compuesto por caja y punzones de las prensas de husillo y eléctricas a los más complejos de tipo espejo y penetrantes, cuya estructura se ha mantenido hasta la actualidad. El factor que determinó esta profunda transformación es, sin ninguna duda, la automatización de la extracción de la baldosa

prensada, que hasta entonces se realizaba manualmente mediante un mecanismo a pedal que accionaba el punzón inferior. La introducción de los extractores a muelles con los pistones hidráulicos para la primera y segunda caídas de platos obligó a la adaptación del molde y permitió, por otra parte la fabricación de moldes con varias salidas, lo que supuso, junto a la gran velocidad de estas prensas y la reducción del número de operarios necesarios para su conducción, un importante aumento de la productividad de la planta.

Cuando la situación del sector es delicada (2,3), cualquier mejora en el proceso que aumente la productividad, ya sea por la reducción de tiempos muertos, ya sea por mejorar la calidad del producto, minimizando tensiones o defectos que luego se manifiestan en la cocción (4) puede ayudar a mejorar la competitividad del sector.

Por lo que respecta a la vida útil de los moldes hay que indicar que el empleo de aceros templados ha posibilitado alcanzar vidas medias en torno a los 500.000 ciclos, dependiendo del material a prensar. En este sentido el avance de los moldes con cuchillas intercambiables fue un gran avance. No obstante estas cuchillas siguen empleando gran cantidad de materiales de alta calidad (aceros de elevada dureza), que han de ser posteriormente tratados (templado).

Con respecto a los recubrimientos hay que indicar que la interacción de un material con su entorno comienza por su superficie, siendo esta afirmación mucho más rotunda para el caso de resistencias al desgaste. El material de base tiene poco interés si la superficie tiene las características adecuadas. La filosofía de emplear recubrimientos con materiales de elevada calidad es ya harto conocida en otros ámbitos tecnológicos (5,6). Para ello se emplean capas cuyos espesores van desde varios Amstrong hasta milímetros. El empleo de recubrimientos para la protección de componentes es utilizado en multitud de sectores industriales, desde la industria aeronáutica en los motores hasta la industria de automoción, pasando por la siderúrgica, papelera, etc.

Un primer estadio en la utilización de recubrimientos en la industria azulejera es la situación actual en el sector cerámico, es decir el empleo de matrices, ya sea en forma de cuchillas o de marcos, que hacen las veces de recubrimiento del portamatrices (matriz) cuyo papel es del soportar los esfuerzos mecánicos del prensado. Por otra parte la introducción de los recubrimientos de caucho en los punzones y posteriormente de los punzones isostáticos ha permitido la mejora en la calidad del producto y el poder abordar cada vez mayores formatos.

Las cuchillas o marcos aportan la elevada resistencia al desgaste y la forma compleja del perfil (figura 1) de la pieza cerámica, no obstante la cantidad de material de alta calidad que contienen (aceros templados) es muy elevada para la pequeña disminución de espesor que por desgaste pueden soportar (0.2 mm.). Un desgaste mayor provoca defectos en el perfil de la pieza que las inutiliza y por ende el molde de prensado.

Para seleccionar el método para la obtención de recubrimientos, es preciso tener en cuenta distintos aspectos,



Figura 1.- Perfil del molde que conforma la placa cerámica, indicando la zona a recubrir

que van desde el espesor, naturaleza del recubrimiento, geometría de las piezas a recubrir, etc.

La proyección térmica es una familia de técnicas en la que el material con el que se desea recubrir se proyecta a elevadas velocidades tras ser calentado ya sea mediante un arco eléctrico, una llama, un plasma, etc.

Para el caso concreto que nos ocupa, se concluyó que la proyección térmica, y en concreto la proyección mediante hipervelocidad, normalmente conocida por sus siglas en inglés HVOF (Hiper-Velocity Oxi-Fuel spraying) era la mas adecuada.

Esta técnica emplea una llama convencional (Hidrógeno, Acetileno, Gas natural, etc.) pero la combustión se produce en el interior de la pistola de proyección, donde se alimenta el polvo, lo que hace que este salga proyectado a temperaturas moderadamente elevadas (1500-2000°C) pero a velocidades muy altas (680-1020 m/s) 2 o 3 veces la del sonido, lo que le confiere al polvo proyectado una energía cinética muy elevada. Todo esto permite obtener recubrimientos de muy elevada densidad.

Esta técnica permite la obtención de recubrimientos homogéneos de espesores entre 0.05 mm. hasta varios milímetros. Con muy buena adherencia a los sustratos siempre que la composición del material a proyectar sea la adecuada.

Por lo que respecta a los materiales empleados hay que indicar que depende mucho del tipo de aplicación al que van dirigidos, ya sea como barreras térmicas, donde se emplean materiales cerámicos, como resistencias a la corrosión, donde se emplean determinadas aleaciones, vidrios, etc. Además, cuando las aplicaciones concretas requieran no solo una elevada resistencia al desgaste, sino una cierta resistencia mecánica, el empleo de materiales compuestos metal-cerámica permite aunar las mejores características de estos materiales, dureza de la fase cerámica y tenacidad de la fase metálica.

El empleo de materiales compuestos para la obtención de recubrimientos antidesgaste, se viene realizando desde hace muchos años. El lograr conseguir el material compuesto con el adecuado equilibrio de propiedades y de composición, en función de la aplicación concreta puede permitir que mediante el empleo de pequeñas cantidades de material, se alcancen vidas útiles mayores a menor coste de material.

Así mismo es necesario tener en cuenta el sustrato, y seleccionar la matriz adecuada con objeto de equilibrar los coeficientes de dilatación y evitar tensiones mecánicas tras la obtención del recubrimiento.

El empleo de Carburos de Cromo o de Wolframio, como fases duras está ampliamente documentada, tanto en trabajos como patentes (7-9) incluso para la obtención de elementos masivos (10).

Por lo que respecta a las matrices es normal el empleo de intermetálicos de AlNi cuando se piensa en aplicaciones de muy alta temperatura, Ni cuando el medio será muy corrosivo y el Co cuando se trata de conseguir recubrimientos antidesgaste en ambientes moderadamente corrosivos.

Finalmente indicar que el hecho de emplear materiales templados, situación actual, provoca un número importante de rechazos además de impedir su posterior mecanizado y reutilización, por lo que los recubrimientos pueden minimizar la producción de residuos y por lo tanto conducir a una mejora medioambiental (11)

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para el presente trabajo se ha empleado un material compuesto con Carburo de Wolframio como fase cerámica dispersa y Cobalto como matriz, en una proporción 80:20 (Sulzer-Metco 5847) que asegura la muy elevada resistencia al desgaste y que existe matriz metálica suficiente para obtener recubrimientos con porosidad menor al 1%. Como sustrato se ha empleado el acero F-114.

Los recubrimientos se han realizado en el Centro de desarrollo de aplicaciones de Sulzer-Metco en Wohlen (Suiza) empleando una pistola DJ2600.

En la figura 1 se muestra la zona a recubrir sobre el perfil de la matriz. Indicar que el espesor objetivo es entre 0.2 y 0.3 mm, ya que hay que considerar el material a eliminar durante el mecanizado de acabado y el espesor preciso para asegurar la vida útil de la matriz.

La medida de dureza se han realizado mediante indentación, sobre la superficie de la probeta pulida, empleando cargas de 300 gr. Para la dureza Vickers y 15 N para la Rockwell.

La porosidad se ha determinado sobre fotos de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), obtenidas de secciones pulidas de la muestra.

Para los ensayos reales se fabricaron 8 moldes de múltiples huecos, que fueron instalados en distintas empresas del sector. Todos ellos ya han superado la vida media de los moldes tradicionales (aproximadamente 500.000 ciclos de prensado) para las composiciones que se prensan en cada compañía, y siguen montados con objeto de poder evaluar la vida real del molde. Se describirán los resultados obtenidos en un molde de 4 huecos, para formatos 33x33.

3. RESULTADOS

Los recubrimientos obtenidos se han cortado y pulido con objeto de poder determinar su porosidad, dureza y observar la microestructura.

En la figura 2 se puede observar la micrografía obtenida mediante Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) de uno de los recubrimientos obtenidos. En ella se aprecia el espesor

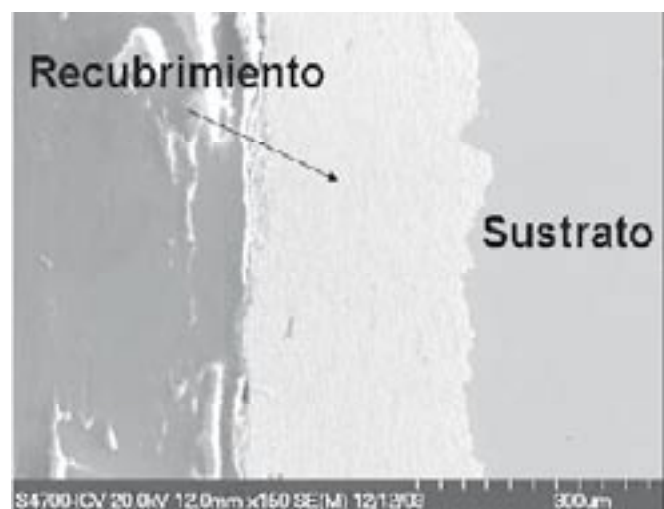


Figura 2.- Micrografía obtenida mediante MEB, de la capa de metal-cerámica, donde se observa el espesor del recubrimiento y la calidad del anclaje al sustrato.

del recubrimiento que esta comprendido entre los 250 y los 300 μm y la buena calidad del anclaje al sustrato.

Si se observa la muestra a mayores aumentos (MEB), se puede apreciar mucho mejor la microestructura del material. En la figura 3 se puede observar la capa bien adherida al sustrato y como la rugosidad de éste ha servido de anclaje para el recubrimiento. Así mismo se pueden observar los granos de Carburo en la matriz metálica, y pequeños poros debidos al apilamiento de las partículas fundidas que conforman la capa. La perfecta adhesión entre ambas fases (sustrato y recubrimiento) es lo que va a posibilitar que todo el sistema funcione en servicio como un conjunto.

La porosidad se ha medido mediante tratamiento de imagen de las micrográficas de MOLR y en todos los casos la porosidad ha sido inferior al 1%.

Se han realizado medidas de Micro y Macro dureza obteniendo los siguientes valores:

$$Hv_{300gr} = 10.5-11 \text{ GPa.}$$

$$HR_{15N} = 91-91.5 \text{ R.}$$

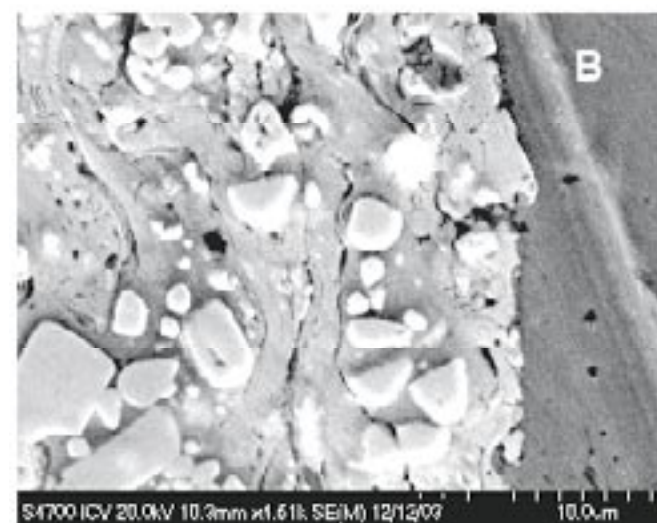
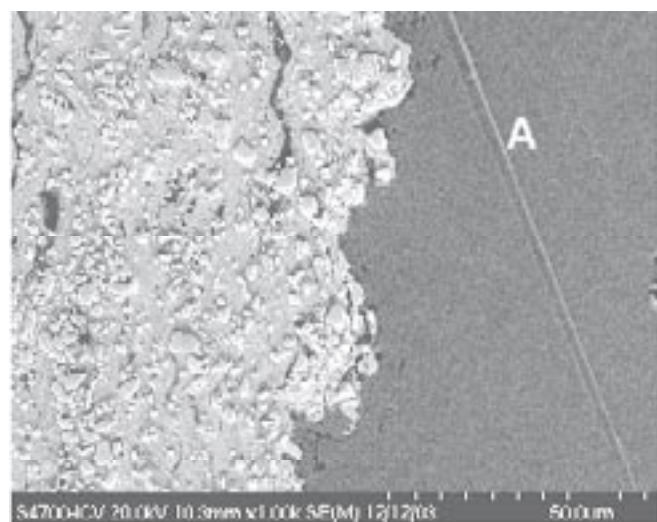


Figura 3.- Micrografías de MEB de la capa, en la que se observa un detalle del anclaje (A) y la distribución del carburo en el Co y la porosidad remanente (B).

Por lo que respecta al ensayo en servicio en un molde de 4 huecos para formatos 33x33, indicar que en dicho molde se ha prensado pasta roja y en el momento de la evaluación presentada se habían realizado 1.000.000 de ciclos de prensado aproximadamente (946.854). Después de estos ciclos se observa un pequeño deterioro en la zona plana del perfil de prensado (figura 4.A) tal vez debido a que a esa zona el recubrimiento llega de forma muy oblicua y la componente correspondiente de la energía cinética (principal ventaja del VHOFF) es muy pequeña. No obstante no se observa ningún tipo de deterioro en la pared, ni la aparición de "barrigas" que deterioran la pieza durante la extracción. Este efecto se percibe claramente en una matriz convencional tras aproximadamente 500.000 ciclos (537.120) de prensado (figura 4.B).

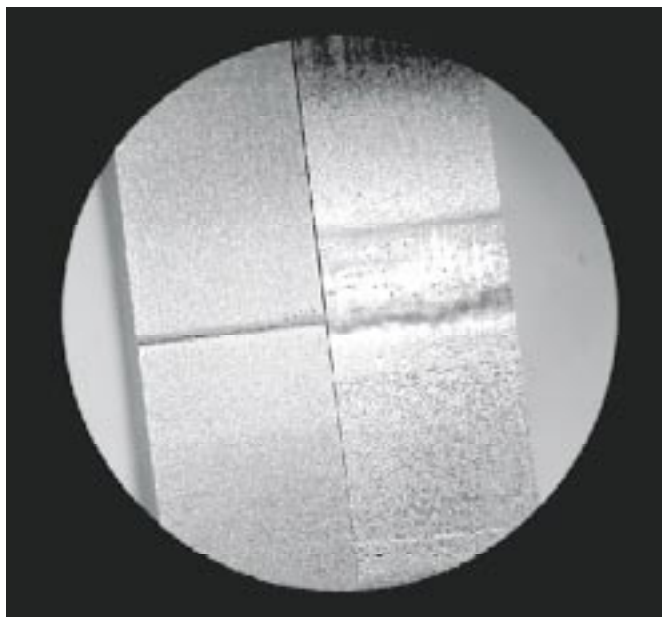


Figura 4.-Superficie de la cuchilla tras el ensayo real. A. Con recubrimiento y casi un millón de ciclos. B. Sin recubrimiento y medio millón de ciclos.

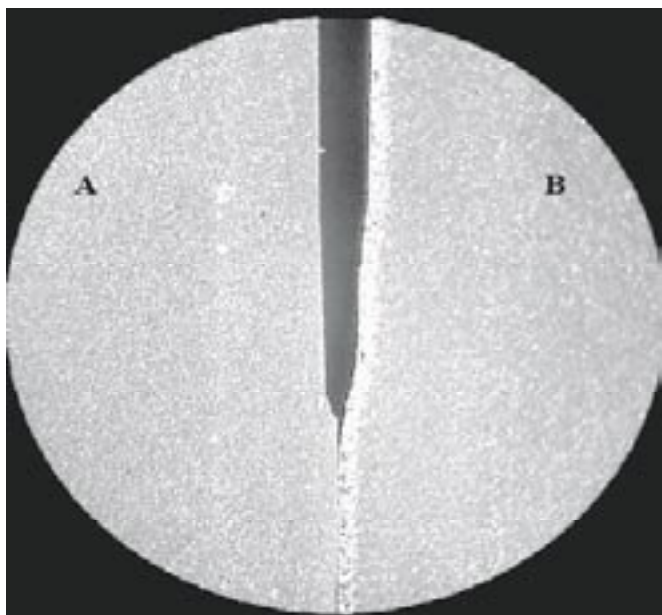


Figura 5.-Geometría del perfil de la cuchilla. A. Con recubrimiento y casi un millón de ciclos. B. Sin recubrimiento y medio millón de ciclos.

Por otro lado, las imágenes de la figura 5 muestran el desgaste de la superficie de fricción durante la extracción de la baldosa. La probeta de la izquierda (5.A) es una sección procedente de la matriz con recubrimiento y la de la derecha corresponde a la matriz convencional (5.B).

Se puede observar el desgaste avanzado de la probeta convencional, que empeora el proceso de prensado al aumentar la holgura con los punzones superiores. La parte izquierda de la imagen (6) muestra el casi nulo desgaste después del elevado número de ciclos en funcionamiento de la matriz recubierta.

Observando la matriz recubierta, tras estos ciclos, no se aprecian signos de corrosión. Debido a su buen estado, esta matriz ha vuelto a ser montada (excepto uno de los huecos, que se ha empleado para los estudios correspondientes) con objeto de determinar la vida útil del utillaje.

4. IMPACTO ECONÓMICO

Puestos a realizar una evaluación económica del proceso de fabricación de los moldes de prensado, mediante recubrimientos obtenidos mediante proyección térmica a alta velocidad (Este estudio se inició antes de comenzar el desarrollo, con objeto de conocer su viabilidad económica), hay que tener en cuenta los cambios a introducir en el proceso de fabricación.

En este trabajo se realiza una evaluación porcentual de los costes asociados al proceso.

En la figura 6 se pueden observar los diagramas de flujo correspondientes al procedimiento clásico de fabricación de moldes y al que corresponde al empleo de recubrimientos mediante HVOF.



Figura 6.- Diagramas de flujo del procedimiento clásico de fabricación de moldes de prensado y el correspondiente al caso en que se empleen los recubrimientos.

Se puede observar que la etapa de templado queda sustituida por la de deposición del recubrimiento. Hay que indicar que esta etapa, la de templado, es una de las principales causantes de los rechazos en el proceso de fabricación, con el agravante de que el material es muy costoso recuperarlo. (La elevada dureza conlleva costes de mecanizado muy altos).

Volviendo a los costes hay que indicar que los principales costes son:

- Materias primas (El polvo de WC-Co en este caso)
- Combustible (Acetileno, Hidrógeno, Gas Natural)
- Mano de obra.

Indicar que los costes de amortización son dependientes de muchos factores, entre ellos el número de piezas recubiertas, por lo que no se han evaluado, aunque un equipo completo, robotizado y con sistema automático de alimentación y extracción de piezas tiene un coste similar, un poco superior, a un buen centro de mecanizado, por lo que no debe influir de forma muy superior a las otras etapas de proceso.

Evaluando los 3 puntos mencionados el coste de producción se incrementa en un 20%, pero este sobreprecio queda amortiguado por el coste de los aceros especiales, el del templado y el elevado rechazo que éste provoca, por lo que se ha concluido que el coste de fabricación utilizando la proyección HVOF es entre un 15% y un 20% superior. Esta cuantía es totalmente absorbible para productos que duplican su vida útil.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Tras el trabajo expuesto se puede remarcar:

- Se ha puesto a punto un procedimiento de fabricación de matrices de prensado de plaquetas cerámicas, en el que la novedad fundamental es el empleo de recubrimientos.
- El procedimiento de obtención de estos recubrimientos ha sido mediante el denominado Proyección HVOF. El material definido para ser utilizado como recubrimiento ha sido un compuesto cerámica-metal en base a Carburo de Wolframio y Cobalto (WC-Co).
- Se han obtenido recubrimientos con porosidades inferiores al 1% y durezas superiores a 10.5 GPa (Hv) y a 91R (Rockwell).
- Las matrices han más que duplicado la vida útil de las tradicionales.
- Que el coste de este proceso es superior al tradicional, pero que queda soslayado por el gran incremento de vida útil y la reducción de costes que ello conlleva.
- Este desarrollo ha sido protegido a través del registro del correspondiente Modelo de Utilidad (nº publicación 1.056.469).

Se puede decir que el empleo de recubrimientos metal-cerámica en la fabricación de moldes para el prensado en la industria del pavimento y revestimiento es un gran avance, no solo ya para el sector de la matricería, sino para el propio sector cerámico ya que:

- Multiplica la vida de las matrices de prensado, por lo que aumenta la calidad del producto.
- Disminuye los tiempos muertos y el coste de mano de obra debido al cambio de matrices.
- Al disminuir el coste de matriz, por ciclo de prensado, esto repercute directamente el coste del producto final.
- El empleo de aceros no endurecidos como sustratos permite que, al finalizar su vida útil, estos puedan ser mecanizados y reutilizados para depositar una nueva capa antidesgaste. Esto conlleva una disminución de coste y lo que tal vez sea mas importante, una disminución en el empleo de materias primas y por lo tanto se puede decir que el proceso se convierte en más amigable con el medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a Jean-Paul Huguet, a Christian Warnecke y a la empresa SULZER por el apoyo prestado.

BIBLIOGRAFIA

1. R. Galindo. "El Molde en la fabricación de la Baldosa Cerámica". Edt. MACER. Castellón 2002.
2. E. Criado, E. Sánchez, M. Regueiro. "La industria cerámica española. ¿Ante un cambio de ciclo?". Bol. Soc. Esp. Ceram. V. 43, 1, 85-101 (2004).
3. B. Segura, E. Vallada, C. Maroto, R. Ruiz. "Análisis del sistema de operaciones en empresas del sector cerámico español". Bol. Soc. Esp. Ceram. V. 43, 6, 929-932(2004).
4. H. Camacho, M.E. Fuentes, L. Fuentes, A. Garcia, A. Pérez. "Evolución de la distribución de tensiones en un cuerpo cerámico durante la cocción". Bol. Soc. Esp. Ceram. V. 42, 6, 353-360 (2003).
5. K.J. Stein, B.S. Chorr, A. Marder, "Erosion of thermal spray MCr-Cr₃C₂ cermet coatings ". Wear 224, 153 (1999).
6. S. Stewart, R. Ahmed, "Rolling contact fatigue of surface coatings—a review ". Wear 253, 1132 (2002).
7. "Procedimiento para fabricación de una capa protectora sobre paredes metálicas sometidas a la influencia de gases calientes especialmente gases de combustión" Patente ES 2.132.237 (1993).
8. "Thermal spray coating for gates and seats", Patente US 6.004.372 (1999).
9. "Hardfacing having coated ceramic particles or coated particles of other hard materials", Patente US 6.469.278 (2002).
10. "Thermal spray forming of a composite material having a particle-reinforced matrix". Patente US 6.436.480 (2002).
11. S. Gabaldón, S. López, J.B. Carda. "Legislación y gestión medioambiental en la producción de baldosas cerámicas". Bol. Soc. Esp. Ceram. V. 42, 3, 169-179 (2003)

Recibido: 10-09-04

Aceptado: 12-10-04

Macer S.A. obtuvo un Accésit en los premios Alfa de Oro 2004 con este producto